

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-133635

(43)Date of publication of application : 10.05.2002

(51)Int.Cl.

G11B 5/667

G11B 5/64

G11B 5/673

G11B 5/738

(21)Application number : 2000-325388

(71)Applicant : HITACHI MAXELL LTD

(22)Date of filing : 25.10.2000

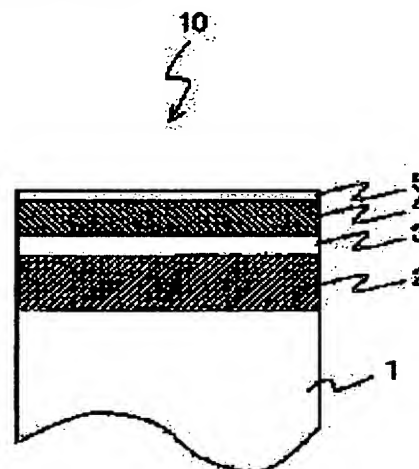
(72)Inventor : KIRINO FUMIYOSHI
FUJITA SHIOJI
YANO AKIRA
WAKABAYASHI KOICHIRO
MATSUNUMA SATORU

(54) INFORMATION RECORDING MEDIUM AND INFORMATION RECORDING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an information recording medium which can surely form a minute magnetic domain in an information recording film with high coercive force, and an information recording device.

SOLUTION: The magnetic recording medium 10 has an auxiliary magnetic layer 2, a non-magnetic film 3 and a hard magnetic film 4 on a substrate 1. The auxiliary magnetic layer 2 is constituted of two or more layers of a soft magnetic film and a non-magnetic intermediate film formed as if it is sandwiched by the layers of the soft magnetic film. The auxiliary magnetic layer 2 having such a structure obtains a larger saturated magnetic flux density as compared with the case wherein the auxiliary magnetic layer is constituted with a single layer of the soft magnetic film, and has high magnetic permeability even in a high-frequency band. The magnetic flux from a magnetic head for recording, therefore, can be intensively impressed to the minute area of the hard magnetic film, and information can be recorded at an extremely high density even when the hard magnetic film with high coercive force is used. The information recording device of the present invention can realize an extremely high density recording of more than 50 Gbits/inch².



- 1 基板
- 2 補助磁性層
- 3 非磁性膜
- 4 硬質磁性膜
- 5 保護膜

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-133635

(P2002-133635A)

(43) 公開日 平成14年5月10日 (2002.5.10)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

ページ(参考)

G 1 1 B 5/687
5/64
5/673
5/738

G 1 1 B 5/657
5/64
5/673
5/738

5 D 0 0 6

審査請求 未請求 請求項の数34 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2000-325388(P2000-325388)

(22) 出願日 平成12年10月25日 (2000. 10. 25)

(71) 出願人 000005810

日立マクセル株式会社
大阪府茨木市丑寅1丁目1番88号

(72) 発明者 相野 文良

東京都杉並区下高井戸五丁目19番4号

(72) 発明者 藤田 雄地

大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立マ
クセル株式会社内

(72) 発明者 矢野 亮

大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立マ
クセル株式会社内

(74) 代理人 100099783

弁理士 川北 喜十郎

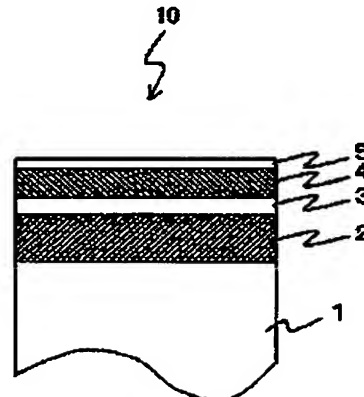
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報記録媒体及び情報記録装置

(57) 【要約】

【課題】 高保磁力の情報記録膜に微小な磁区を確實に形成できる情報記録媒体及び情報記録装置を提供する。

【解決手段】 磁気記録媒体10は、基板1上に補助磁性層2、非磁性膜3、硬質磁性膜4を備える。補助磁性層2を、2層以上の軟磁性膜と当該軟磁性膜に挟まれるように形成される非磁性の中間膜とから構成する。かかる構造を有する補助磁性層2は、軟磁性膜単層で補助磁性層を構成した場合よりも大きな飽和磁束密度が得られるとともに、高周波帯域においても高い透磁率を有する。それゆえ、記録用磁気ヘッドからの磁束を硬質磁性膜の微小領域に集中して印加でき、高保磁力の硬質磁性膜であっても超高密度に情報を記録できる。本発明の情報記録装置は50 Gbits/inch²を越える超高密度記録を実現することができる。



- 1 基板
- 2 補助磁性層
- 3 非磁性膜
- 4 硬質磁性膜
- 5 保護膜

【特許請求の範囲】

【請求項1】 情報記録媒体において、

基板上に、

補助磁性層と、

基板面に垂直な方向に磁化容易軸を有する硬質磁性膜と、

該補助磁性層及び硬質磁性膜の間に位置する非磁性膜とを備え、

上記補助磁性層が、複数の軟磁性膜と当該複数の軟磁性膜の間に形成された非磁性の中間膜とから構成されていることを特徴とする情報記録媒体。

【請求項2】 上記軟磁性膜は、Co-Zrを主体とする合金、または当該合金にTa、Nb及びTiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素が含まれた合金から構成されていることを特徴とする請求項1に記載の情報記録媒体。

【請求項3】 上記軟磁性膜が、鉄族元素と希土類元素とから構成される非晶質のフェリ磁性体であることを特徴とする請求項1に記載の情報記録媒体。

【請求項4】 上記鉄族元素が、Fe及びCoの少なくとも一方の元素であり、上記希土類元素が、Gd、Er、Tm、Nd、Pr、Sm、Ce、La及びYからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であることを特徴とする請求項3に記載の情報記録媒体。

【請求項5】 上記軟磁性膜は、Ta、Nb及びZrからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素の窒化物または炭化物がFe結晶粒子の粒界に分散されたナノクリスタル構造を有することを特徴とする請求項1に記載の情報記録媒体。

【請求項6】 上記中間膜は、Si、Cr、Nb、Mo、W、Ta、Ti、Zr、V、Re、Rh、Pt、Pd、Ir、Ru及びCuからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素を用いて構成されることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項7】 上記中間膜は、Ta、Cr、Al、Si、Mg及びTiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素の酸化物または窒化物を用いて構成されることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項8】 上記中間膜は、酸化コバルト及び酸化マグネシウムの少なくとも一方と、酸化シリコン、酸化チタン、酸化タンタル、酸化アルミニウム及び酸化ジルコニウムからなる群から選ばれた少なくとも1種類の化合物から形成されることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項9】 上記補助磁性層の飽和磁束密度が1.5 T以上であることを特徴とする請求項1～8のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項10】 上記補助磁性層の保磁力が硬質磁性膜の保磁力の20%以下であることを特徴とする請求項1

～9のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項11】 上記硬質磁性膜は、希土類元素と鉄族元素とを用いて構成されたフェリ磁性体であり、該希土類元素は、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であり、該鉄族元素は、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であることを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項12】 上記硬質磁性膜が、白金族元素からなる層と鉄族元素からなる層とを交互に積層して構成される人工格子膜であり、該白金族元素は、Pt、Pd及びRhからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であり、該鉄族元素は、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であることを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項13】 上記硬質磁性膜がCo-Crを主体とする磁性合金、または、当該磁性合金にNb、Ta、Pt及びBからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素を含んだ合金から構成されていることを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項14】 上記非磁性膜の膜厚が0.2nm以上、6nm以下であることを特徴とする請求項1～13のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項15】 上記非磁性膜は、Si、Cr、Nb、Mo、W、Ta、Ti、Zr、V、Re、Rh、Pt、Pd、Ir、Ru及びCuからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素、若しくは、Ta、Cr、Al、Si、Mg及びTiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素の酸化物または窒化物を用いて構成されていることを特徴とする請求項1～14のいずれか一項に記載の情報記録媒体。

【請求項16】 上記軟磁性膜及び硬質磁性膜が、ともに結晶質構造を有することを特徴とする請求項1に記載の情報記録媒体。

【請求項17】 上記軟磁性膜及び硬質磁性膜が、ともに非晶質構造を有することを特徴とする請求項1に記載の情報記録媒体。

【請求項18】 情報記録装置において、

基板上に、補助磁性層と、硬質磁性膜と、該補助磁性層及び硬質磁性膜の間に位置する非磁性膜とを備える情報記録媒体と、

情報を記録または再生するための磁気ヘッドと、

上記磁気ヘッドを上記情報記録媒体に対して駆動するための駆動装置とを備え、

上記補助磁性層が、複数の軟磁性膜と当該複数の軟磁性膜の間に形成された非磁性の中間膜とから構成されていることを特徴とする情報記録装置。

【請求項19】 上記硬質磁性膜は、基板面に垂直な方向に磁化容易軸を有することを特徴とする請求項18に

記載の情報記録装置。

【請求項20】 上記補助磁性層は、上記磁気ヘッドの磁界発生部分を構成する磁性材料の飽和磁束密度以上の飽和磁束密度を有することを特徴とする請求項18または19に記載の情報記録装置。

【請求項21】 上記軟磁性膜は、Co-Crを主体とする合金、または当該合金にTa、Nb及びTiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素が含まれた合金から構成されていることを特徴とする請求項18～20のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項22】 上記軟磁性膜は、鉄族元素と希土類元素とから構成される非晶質のフェリ磁性体であることを特徴とする請求項18～20のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項23】 上記鉄族元素が、Fe及びCoの少なくとも一方の元素であり、上記希土類元素が、Gd、Er、Tm、Nd、Pr、Sm、Ce、La及びYからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であることを特徴とする請求項22に記載の情報記録装置。

【請求項24】 上記軟磁性膜は、Ta、Nb及びZrからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素の窒化物または炭化物がFe結晶粒子の粒界に分散されたナノクリスタル構造を有することを特徴とする請求項18～20のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項25】 上記中間膜は、Si、Cr、Nb、Mo、W、Ta、Ti、Zr、V、Re、Rh、Pt、Pd、Ir、Ru及びCuからなる群から選ばれた少なくとも一種の元素を用いて構成されることを特徴とする請求項18～24のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項26】 上記中間膜は、Ta、Cr、Al、Si、Mg及びTiからなる群から選ばれた少なくとも一種の元素の酸化物または窒化物を用いて構成されることを特徴とする請求項18～24のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項27】 上記中間膜は、酸化コバルト及び酸化マグネシウムの少なくとも一方と、酸化シリコン、酸化チタン、酸化タンタル、酸化アルミニウム及び酸化ジルコニウムからなる群から選ばれた少なくとも一種との化合物から形成されることを特徴とする請求項18～24のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項28】 上記補助磁性層の飽和磁束密度が1.5 T以上であることを特徴とする請求項18～27のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項29】 上記補助磁性層の保磁力が硬質磁性膜の保磁力の20%以下であることを特徴とする請求項18～28のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項30】 上記硬質磁性膜は、希土類元素と鉄族元素とを用いて構成されたフェリ磁性体であり、該希土類元素は、Gd、Tb、Dy及びHoからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であり、該鉄族元素は、

10

Fe、Co及びNiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であることを特徴とする請求項18～29のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項31】 上記硬質磁性膜が、白金族元素からなる層と鉄族元素からなる層とを交互に積層して構成される人工格子膜であり、該白金族元素は、Pt、Pd及びRhからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であり、該鉄族元素は、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素であることを特徴とする請求項18～29のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項32】 上記硬質磁性膜がCo-Crを主体とする磁性合金、または、当該磁性合金にNb、Ta、Pt及びBからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素を含んだ合金から構成されていることを特徴とする請求項18～29のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【請求項33】 上記非磁性膜の膜厚が0.2 nm以上、6 nm以下であることを特徴とする請求項18～32のいずれか一項に記載の情報記録装置。

20

【請求項34】 上記非磁性膜は、Si、Cr、Nb、Mo、W、Ta、Ti、Zr、V、Re、Rh、Pt、Pd、Ir、Ru及びCuからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素、若しくは、Ta、Cr、Al、Si、Mg及びTiからなる群から選ばれた少なくとも1種類の元素の酸化物または窒化物を用いて構成されていることを特徴とする請求項18～33のいずれか一項に記載の情報記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

30

【発明の属する技術分野】本発明は、高密度記録可能な情報記録媒体及び情報記録装置に関し、特に、高い保磁力を有する情報記録膜に磁気ヘッドの磁界を効率的に印加して微小な記録磁区を確実に形成することができる情報記録媒体及び情報記録装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年の高度情報化社会の進展にはめざましいものがあり、各種形態の情報を統合したマルチメディアが急速に普及してきている。マルチメディアの一つとしてコンピュータ等に装着される磁気ディスク装置が知られている。現在、磁気ディスク装置は、記録密度を向上させつつ小型化する方向に開発が進められている。また、それに並行して装置の低価格化も急速に進められている。

40

【0003】磁気ディスクの高密度化を実現するためには、1) ディスクと磁気ヘッドとの距離を狭めること、2) 磁気記録媒体の保磁力を増大させること、3) 信号処理方法を高速化すること、4) 磁気記録媒体の熱膨らみを低減すること、等が要望されている。

【0004】高密度磁気記録を実現するための磁気記録媒体として、基板面に垂直な方向に磁化容易軸を有する

50

垂直磁化膜を情報記録膜に用いた垂直磁気記録媒体が知られている。かかる垂直磁気記録媒体の情報記録膜としては、例えば、Co-Cr-Pt(-Ta)系の磁性材料が用いられている(Internat2000 AD06)。この材料は、20nm程度のCoの結晶粒子が析出した結晶質材料である。かかるCo系の結晶質材料を用いた磁気記録媒体においては、軟磁性膜(補助磁性層)と結晶質の情報記録膜とを組み合わせて2層の磁性膜を備えた構成にすることが提案されている。このような軟磁性膜を形成することにより、情報記録時には記録用磁気ヘッドと軟磁性膜との間で閉磁路ループが形成され、情報記録膜に対して垂直な方向に磁界が印加されるので、情報記録膜に安定して情報を記録することができるからである。例えば、特開平3-183011には、垂直磁気記録媒体に好適な2層構造の磁気記録媒体と、用いる軟磁性膜の透磁率について検討した結果が開示されている。また、熱安定性に優れ、高密度記録に好適な垂直磁気記録用の磁性材料として、非晶質材料の鉄土類-鉄族合金が有望であることが第23回日本応用磁気学会学術講演会(8aB-11 1999)において報告されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述の軟磁性膜と情報記録用の磁性膜とを組み合わせた磁気記録媒体においては、軟磁性膜と情報記録用の磁性膜との間で働く磁気的相互作用が強いために、情報記録時に軟磁性膜が情報記録用の磁性膜の磁壁の移動を妨げてしまい、情報記録用の磁性膜に形成される磁壁が所望の位置に位置付けられない場合や、微小磁区を形成することができない場合があった。

【0006】また、更なる高密度記録化を実現するために情報記録膜の保磁力を更に高めたとき、記録用磁気ヘッドからの磁束を情報記録膜に効率良く印加させないと、情報記録膜を確実に磁化させることは困難である。すなわち、高密度記録のためには、記録用磁気ヘッドからの磁束が情報記録膜に効率良く印加されるように、磁気記録媒体を構成する磁性材料の磁気特性や媒体構成を選択する必要がある。

【0007】また、一般に、軟磁性膜は高い周波数域において透磁率が急激に低下するため、データ転送速度の増大により記録周波数が高くなると記録が困難となるという問題もあった。

【0008】また、記録用の磁気ヘッドに用いられている磁性材料の飽和磁束密度は、高密度化の進展とともに増大しており、これに応じて、磁気記録媒体の軟磁性膜の飽和磁束密度を増大させることが要望されている。

【0009】本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、本発明の第1の目的は、飽和磁束密度の大きな軟磁性膜を備える情報記録媒体を提供することにある。

【0010】本発明の第2の目的は、情報記録用の磁性

膜に形成される記録磁区を高精度に位置付けることができるとともに、その位置を安定して維持することができる情報記録媒体を提供することにある。

【0011】本発明の第3の目的は、磁化遷移領域の磁区形状を制御することにより再生時のノイズを低減することができる情報記録媒体及び情報記録装置を提供することにある。

【0012】本発明の第4の目的は、記録用磁気ヘッドからの磁界を高保磁力の情報記録膜に効率よく印加することができ、情報記録膜の微小領域を確実に磁化させることのできる情報記録媒体及び情報記録装置を提供することにある。

【0013】本発明の第5の目的は、記録用磁気ヘッドからの磁束を情報記録膜に収束させて印加でき、情報記録膜に微小な記録磁区を形成することができる情報記録媒体及び情報記録装置を提供することにある。

【0014】本発明の第6の目的は、50Gbit/inch²を超える超高密度記録に好適な情報記録媒体及び情報記録装置を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様に従えば、情報記録媒体において、基板上に、補助磁性層と、基板面に垂直な方向に磁化容易軸を有する硬質磁性膜と、該補助磁性層及び硬質磁性膜の間に位置する非磁性膜とを備え、上記補助磁性層が、複数の軟磁性膜と当該複数の軟磁性膜の間に形成された非磁性の中間膜とから構成されていることを特徴とする情報記録媒体が提供される。

【0016】本発明の情報記録媒体は、基板上に、補助磁性層と、硬質磁性膜と、それらの間に存在する非磁性膜とを備えた構造を有し、基板面に垂直な方向に磁化容易軸を有する硬質磁性膜に情報を記録し得る。非磁性膜は、硬質磁性膜と補助磁性層とを静電的に結合させて、硬質磁性膜と補助磁性層との間で働く磁気的相互作用を、交換結合させた場合よりも弱くすることができる。補助磁性層は、少なくとも2層の軟磁性膜と、一組の軟磁性膜によって挟まれるように形成された非磁性の中間膜とから構成される。例えば補助磁性層が2層の軟磁性膜を有する場合は、図2(A)に示すように、第1軟磁性膜と第2軟磁性膜との間に非磁性の中間膜が形成されて構成される。また、軟磁性膜が3層以上の多層から構成されている場合は、補助磁性層は、図2(B)に示すように、第1、第2、第3、・・・第n軟磁性膜のそれぞれの上に非磁性の中間膜(第1、第2、・・・第n-1中間膜)が形成されて構成される(ここでnは3以上の整数とする)。

【0017】かかる構成の補助磁性層は、1.9T～2.0Tの大きな飽和磁束密度を有しており、軟磁性膜単層のみで補助磁性層を構成した場合よりも1.7倍～1.8倍程度に飽和磁束密度を大きくすることができ

る。これにより、磁気ヘッドで発生した磁界を、補助磁性層において、より一層良好に吸収することができるので、情報記録時に磁気ヘッドから発生する磁界を、磁気ヘッドと補助磁性層との間に位置する硬質磁性膜に効率良く印加させることができる。それゆえ、硬質磁性膜に微小な磁区を容易に且つ確実に形成することができる。

【0018】また、複数の軟磁性膜と非磁性の中間膜とからなる補助磁性層は、軟磁性膜層で構成された場合よりも膜厚方向の磁氣的相互作用が低減されているので、補助磁性層に形成される磁壁は、情報記録時に硬質磁性膜に磁区を形成する際に生じる磁壁の移動にスムーズに追従する。その結果、情報記録時に、補助磁性層が、硬質磁性膜に形成される磁壁の移動の妨げとはならず、硬質磁性膜に形成される磁壁を所望の位置に確実に位置付けることが可能となる。

【0019】また、かかる構造を有する補助磁性層は、高周波帯域でも高い通磁率を安定して維持することができる。すなわち、補助磁性層は、1MHz～200MHzの高周波帯域においても1000程度の高い通磁率を有している。これにより、かかる高周波帯域の交流磁界を用いても、安定に且つ確実に情報を記録することができる。それゆえ超高密度記録に極めて好適である。

【0020】本発明において、補助磁性層を構成する複数の軟磁性膜及びそれぞれの軟磁性膜間に形成される中間膜は、非晶質膜や人工格子膜（交互積層多層膜）として構成し得る。また、補助磁性層を構成する複数の軟磁性膜は、互いに同一の磁気特性を有していても異なる磁気特性を有していてもよい。すなわち、それぞれの軟磁性膜を、同一の軟磁性材料を用いて構成しても異なる軟磁性材料を用いて構成してもよい。

【0021】本発明において、補助磁性層の膜厚は、10nm～500nmが好ましい。また、補助磁性層を構成する複数の軟磁性膜の一層の膜厚は8nm～100nmが好ましく、50nm程度がより一層好ましい。また軟磁性膜の間に形成される非磁性の中間膜の膜厚は0.2nm～5nmが好ましい。

【0022】本発明においては、高密度記録の観点から、補助磁性層の飽和磁束密度は1.5T以上であることが最も好ましい。これにより、情報を記録する際に用いられる記録用磁気ヘッドの磁極から発生する磁束を、より一層効率的に硬質磁性膜に収束させて印加させることができる。また、補助磁性層の飽和磁束密度の値が1.5T以上であると、記録用磁気ヘッドと補助磁性層との間に高密度記録に好適な閉磁界ループを形成することができる。従来技術の欄に記載した特開平3-183011号では、軟磁性膜の通磁率についてのみ検討されており、記録用磁気ヘッドと軟磁性膜の飽和磁束密度の関係については記載も示唆もされていない。

【0023】本発明の情報記録媒体において、補助磁性層と硬質磁性膜とは、上述したように、それらの間に介

在する非磁性膜により互いに静磁的に結合している。かかる非磁性膜の膜厚は0.2nm以上、6nm以下が好適である。非磁性膜の膜厚が0.2nm未満の場合は非磁性膜の成膜の制御が困難であるため好ましくなく、膜厚が6nmを越えると補助磁性層と硬質磁性膜との間で静磁的な相互作用が生じなくなるので好ましくない。

【0024】本発明において、補助磁性層と硬質磁性層とによって挟まれた非磁性膜は、非磁性を示す材料であれば任意の材料を用いて構成することができ、例えば、Si、Cr、Nb、Mo、W、Ta、Ti、Zr、V、Re、Rh、Pt、Pd、Ir、Ru及びCuの中から選ばれる少なくとも1種類の元素、あるいは、Ta、Cr、Al、Si、Mg及びTiの中から選ばれる少なくとも1種類の元素の酸化物あるいは窒化物を用いることが最も好ましい。これらの材料は、硬質磁性膜や補助磁性層などの磁性膜中に不純物として含まれる水や酸素が磁性膜間で拡散するのを抑制できるので、これら磁性膜の耐食性を向上させることができるとともに、磁性膜の信頼性を向上させることができる。

【0025】本発明において、補助磁性層の保磁力は、硬質磁性膜の保磁力の20%以下であることが最も好ましい。補助磁性層の保磁力を硬質磁性膜の保磁力の20%程度にすることにより、硬質磁性膜に形成される磁区のエッジ位置の制御性が向上することがわかった。この効果は、硬質磁性膜が、希土類元素と鉄族元素との非晶質合金を用いて構成されている場合に有効である。ここで、一般には、保磁力が0.10e（約7.958A/m）以下の磁性材料が軟磁性材料と呼ばれているが、本発明の情報記録媒体の補助磁性層を構成する複数の軟磁性膜には、硬質磁性膜の保磁力の20%以下の保磁力を有する磁性材料も含むものとする。

【0026】本発明において、硬質磁性膜はフェリ磁性体の薄膜であることが好ましい。フェリ磁性体は、例えば希土類元素と鉄族元素とから構成される非晶質合金にすることができ、希土類元素は、Gd、Tb、Dy及びHoの中から選ばれる少なくとも1種類の元素が好適であり、鉄族元素は、Fe、Co及びNiの中から選ばれる少なくとも1種類の元素が好適である。また、硬質磁性膜は、鉄族元素と希土類元素とを交互に積層した交互積層多層膜（人工格子膜）を用いて構成してもよい。本発明において硬質磁性膜はX線回折を行なったときに結晶構造に基づく回折ピークが観測されないような構造を有することが好ましい。

【0027】また、硬質磁性膜は、白金族元素と鉄族元素とから構成される人工格子膜（交互積層多層膜）にもし得る。かかる人工格子膜において、白金族元素は、Pt、Pd及びRhの中から選ばれる少なくとも1種類の元素が好適であり、鉄族元素がFe、Co及びNiの中から選ばれる少なくとも1種類の元素が好適である。ま

た、硬質磁性膜は、Co-Crを主体とする磁性合金から構成することもできる。この場合は、Co-Cr合金に、Nb、Ta、Pt及びBの中から選ばれる少なくとも1種類の元素を含ませた結晶質の合金として構成しても良い。

【0028】本発明において、補助磁性層を構成する軟磁性膜の磁性材料は、Co-Zrを主体とする合金が好ましく、特に、これにTa、Nb及びTiの中から選ばれる少なくとも1種類の元素を含んだ非晶質合金が好適である。また、軟磁性膜は、鉄族元素と希土類元素から構成されるフェリ磁性体から構成することもできる。かかるフェリ磁性体としては、例えば、鉄族元素がFe及びCoの少なくとも一方の元素であり、希土類元素が、Gd、Er、Tm、Nd、Pr、Sm、Ce、La及びYの中から選ばれる少なくとも1種類の元素である非晶質合金であることが最も好ましい。また、軟磁性膜は、図3に示すような、Feからなる結晶粒子同士の粒界部に、Ta、Nb及びZrの中から選ばれる少なくとも1種類の元素の窒化物または炭化物を均一に分散させて析出させたナノクリスタル構造を有する磁性膜であってもよい。図3において、Fe結晶粒子の粒子径は8~20nmであり、窒化物または炭化物の粒子径は3~7nm程度である。

【0029】また、補助磁性層を構成する複軟磁性膜のそれぞれの間に形成される中間膜には、つぎの(1)~(3)のいずれか一つの材料を用いて構成することが好ましい。

(1) Si、Cr、Nb、Mo、W、Ta、Ti、Zr、V、Re、Rh、Pt、Pd、Ir、Ru、Cuの少なくとも一種類の元素。

(2) Ta、Cr、Al、Si、Mg、Tiの少なくとも一種類の元素の酸化物または窒化物。

(3) 酸化コバルト及び酸化マグネシウムの少なくとも一方と酸化シリコン、酸化チタン、酸化タンタル、酸化アルミニウム及び酸化ジルコニウムの少なくとも一種との化合物から構成される複酸化物。

【0030】これらの材料のいずれか一つを中間膜に用いて補助磁性層を構成することにより、補助磁性層からは高周波帯域においても十分大きな透磁率及び飽和磁束密度が得られるので、高密度化に伴って記録周波数を高めても確実に情報の記録を行なうことができる。

【0031】本発明において、硬質磁性膜を、結晶質材料を用いて構成した場合には、補助磁性層も結晶質材料を用いて構成することが好ましく、硬質磁性膜を、非晶質材料を用いて構成した場合には、軟磁性膜も非晶質材料を用いて構成することが好ましい。

【0032】本発明の第2の態様に従えば、情報記録装置において、基板上に、補助磁性層と、硬質磁性膜と、該補助磁性層及び硬質磁性膜の間に位置する非磁性膜とを備える情報記録媒体と、情報を記録または再生するた

めの磁気ヘッドと、上記磁気ヘッドを上記情報記録媒体に対して駆動するための駆動装置とを備え、上記補助磁性層が、複数の軟磁性膜と当該複数の軟磁性膜の間に形成された非磁性の中間膜とから構成されていることを特徴とする情報記録装置が提供される。

【0033】本発明の情報記録装置は、搭載されている情報記録媒体の補助磁性層を、非磁性の中間膜で互いに隔離されて構成された複数の軟磁性膜を用いて形成している。かかる補助磁性層は大きな飽和磁束密度を有するとともに、高周波帯域においても高い透磁率を有しているので、記録用磁気ヘッドから発生する磁束を、情報を記録するための硬質磁性膜の狭い領域に集中して印加することができる。したがって、情報記録媒体の硬質磁性膜に微小な記録磁区を確実に形成することが可能となり、高速且つ超高密度に情報を記録することができる。

【0034】本発明において、情報記録媒体の補助磁性層の飽和磁束密度は、情報を記録する際に用いられる磁気ヘッドの磁界発生部分(磁極)を構成する磁性材料の飽和磁束密度以上であることが好ましい。すなわち、補助磁性層及び記録用磁気ヘッドの磁極を構成する磁性材料の飽和磁束密度をそれぞれ $B_s(M)$ 及び $B_s(H)$ としたときに、 $B_s(H) \leq B_s(M)$ の関係を満足するように、補助磁性層の磁性材料または記録用磁気ヘッドの磁極材料を選択することが好ましい。これにより、記録用磁気ヘッドからの磁界を、情報が記録される硬質磁性膜に効率よく印加することが可能となり、硬質磁性膜に微小な記録磁区を確実に形成することが可能となる。以下、その理由について説明する。

【0035】情報記録時に、かかる情報記録媒体に、記録用磁気ヘッドを用いて磁界を印加すると、記録用磁気ヘッドと補助磁性層との間で図4に示したような閉磁界ループが形成される。すなわち、記録用磁気ヘッドの主磁極から発生した磁束は、硬質磁性膜4を通過した後、補助磁性層2に達し、この補助磁性層2内を通過して再び硬質磁性膜4を通過した後、記録用磁気ヘッドの副磁極に戻る。補助磁性層2の飽和磁束密度を、記録用磁気ヘッドの磁極を構成する材料の飽和磁束密度と同じかそれより大きくすることにより、記録用磁気ヘッドの主磁極から発生した磁束は、補助磁性層2に良好に且つ効率良く吸収される。その結果、硬質磁性膜の狭い領域に磁束が集中して印加され、高保磁力の硬質磁性膜であっても、磁束が印加された微小領域は確実に磁化される。したがって、硬質磁性膜に微小な記録磁区を高密度に形成することが可能となる。

【0036】本発明の情報記録装置の磁気ヘッドは、例えば、記録用磁気ヘッドと再生用磁気ヘッドとを一体にして構成した磁気ヘッドとし得る。記録用磁気ヘッドには、例えば軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッドや単磁極ヘッドを用いることができる。再生用磁気ヘッドには、MR素子(Magnetoresistive素子; 磁気抵抗効果素子)

やGMR素子（Giant Magneto Resistive素子；巨大磁気抵抗効果素子）、TMR素子（Tunneling Magneto Resistive素子；磁気トンネル型磁気抵抗効果素子）を用いることができる。これらの再生素子を用いることにより情報記録媒体に記録された情報を高いS/Nで再生することができる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、本発明に従う情報記録媒体及び情報記録装置について実施例により更に詳細に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0038】（ECRスパッタ装置の説明）最初に、後述する実施例の磁気記録媒体の保護膜の成膜に用いるECR（Electron Cyclotron Resonance）スパッタ装置について説明する。図5は、ECRスパッタ装置80を概念的に示す。ECRスパッタ装置80は、プラズマが発生する第1チャンバ81と、第1チャンバ81の上方に連結された環状のターゲット70と、ターゲット70の上方に連結された第2チャンバ83とを主に有する。第1チャンバ81は、石英製の円筒管であり、軸方向の上方及び下方に一对のコイル64、66がそれぞれ周回して設けられている。第1チャンバ81には、マイクロ波発生器74が導入管を介して連結されており、導入管は第1チャンバ81のコイル64と66との間に連結されている。第2チャンバ83は金属製の真空チャンバであり、その頂部には、ターゲット70から叩き出された粒子を堆積させる基板68が設置されている。更に、第2チャンバ83の上方には、印加されたバイアスにより引き出されたプラズマを収束させる（発散を抑制させる）ためのコイル62が設けられている。ターゲット70と第2チャンバ83内に設置された基板68は、バイアス電圧が印加できるように、電源90に接続されている。

【0039】第1チャンバ81内部、ターゲット70の内側及び第2チャンバ内部は連通され、外部から閉塞されている。装置動作時に不図示の真空ポンプにより、第1チャンバ81内部、ターゲット70内側及び第2チャンバ83内部の共有する空間を減圧するとともに、第1チャンバ81内に不図示のガス供給口を介して気体（例えばAr）を導入する。次いで、装置内部にコイル64及び66を用いて一定の磁界を印加する。この磁界によって、装置内部に存在する自由電子は、磁界軸を右回りにサイクロトロン運動する。この電子サイクロトロン運動の角振動数は、例えば、電子密度が 10^{19} cm^{-3} 程度である場合には、約 10^9 Hz 程度であり、マイクロ波領域の角振動数となる。この磁場内にマイクロ波発生器74から、発生したマイクロ波を導入すると、マイクロ波は電子のサイクロトロン運動と共鳴し、そのマイクロ波のエネルギーが電子に吸収される共鳴吸収が起こる。この共鳴吸収によって電子は高エネルギーを得て加速され、気体に衝突してその気体の電離を引き起こし、高エネルギーを有するECRプラズマ76を第1チャン

バ81内に発生させる。ここで、電子には共鳴吸収により一定レベルのエネルギーが与えられるので、電子のエネルギー状態もまた一定の高エネルギーレベルにある。このような電子を気体に衝突させてプラズマを発生させるため、このプラズマを構成する粒子は高エネルギーであるとともに、放電などにより発生する通常のプラズマに比べて各粒子のエネルギーが揃い、エネルギー分布の狭いプラズマが得られる。

【0040】プラズマの発生位置の上方にある環状のターゲット70と基板68の間には、バイアス電圧が印加されているため、発生したプラズマはターゲット70に向かって引き出され、ターゲット70に衝突してターゲット粒子を叩き出す。この際に、バイアス電圧を変化させることによって、ターゲット70に衝突するプラズマの運動エネルギー、ひいてはプラズマによって叩き出されたターゲット粒子の運動エネルギーを精密に制御することが可能となる。このようにしてエネルギーが制御されたターゲット粒子は、図示したようにターゲット粒子の流れ72として基板68に向かい、基板68上に均質に且つ等しい膜厚で堆積される。

【0041】

【実施例1】この実施例では、本発明に従う情報記録媒体として、図1の概略断面図に示すような断面構造を有する磁気記録媒体を作製した。磁気記録媒体10は、基板1上に補助磁性層2、非磁性層3、硬質磁性層4及び保護膜5を順次積層した構造を有する。かかる構造の磁気記録媒体において硬質磁性層4には非晶質のTb-Fe-Co膜を用いた。また、補助磁性層2としてCo、Nd、Zr、Ti膜と交互に積層した非晶質の交互積層膜を用いた。ここでは、硬質磁性層4と補助磁性層2を非晶質材料を用いて構成したが、硬質磁性層4と補助磁性層2のいずれか一方が結晶質であってもよい。

【0042】（基板の準備）まず、基板1として、直径2.5インチ（約6.35cm）のガラス基板を用意した。ここで用いた基板は一例であり、いずれのサイズのディスク基板を用いてもよく、AlやAl合金などの金属の基板を用いてもよい。用いる基板の材質やサイズに本発明の効果は左右されない。また、ガラス、AlやAl合金の基板上にメッキ法やスパッタ法によりNiP層を形成した基板を用いてもよい。

【0043】（補助磁性層の成膜）次いで、かかる基板1上に、補助磁性層2として、Ti膜とCo-Nb-Zr膜とを交互に積層した交互積層膜を形成した。かかる交互積層膜は交互スパッタにより形成した。Co-Nb-Zr膜の膜厚を15nm、Ti膜の膜厚を1nmとし、補助磁性層2の全膜厚が220nmになるように成膜した。ここで、補助磁性層2の膜厚は、磁気ヘッドの形状や印加磁界の強度によって適宜選択される。交互スパッタのスパッタ法にはDCマグネトロンスパッタ法を

用いた。DCマグネトロンスパッタ法はプラズマの広がり小さく、相互の拡散を抑えることができるので、多層膜を成膜する方法として好適である。スパッタの条件は、投入RFパワーが1kW/5インチ、放電ガス圧力が10mTorr (約1.33Pa)である。スパッタリングの際の基板の温度は室温とした。

【0044】こうして形成された補助磁性層2の結晶構造をX線回折法により調べたところ、明確なピークは得られず、非晶質であることがわかった。また、補助磁性層2の磁気特性を調べたところ、保磁力が0.6Oe (約47.748A/m)、飽和磁束密度が2.0T、比透磁率が1000であった。補助磁性層を軟磁性膜単層で構成した場合は飽和磁束密度が1.1Tであるが、得られた飽和磁束密度が1.1Tよりも大きくなっているのは、補助磁性層2を多層化して構成したためである。このように、非磁性の中間膜を介して軟磁性膜を多層にして補助磁性層を構成することにより、軟磁性膜を単層で構成した場合よりも飽和磁束密度を増大することができる。また、補助磁性層の基板面に平行な方向の交換結合力を低減することができるので、情報記録膜に磁区を形成する際の磁壁移動に影響を及ぼすことが低減される。

【0045】ここでは、交互スパッタにDCマグネトロンスパッタ法を用いたが、電子サイクロトロン共鳴(ECR)吸収を用いたスパッタ法(ECRスパッタ法)を用いてもよい。多層膜の成膜で重要なのは、層の間で発生する相互拡散を抑制することである。かかる点を考慮するとECRスパッタ法は層間拡散を抑制する効果が大きいので多層膜の成膜に有効な方法である。

【0046】〔非磁性膜の成膜〕つぎに、非磁性膜3として窒化シリコン膜をRFマグネトロンスパッタ法により膜厚3nmで形成した。スパッタターゲットにはシリコンを、放電ガスにはAr-N₂混合ガス(Ar/N₂分圧比:90/10)をそれぞれ使用した。スパッタ時の放電ガス圧は10mTorr (約1.33Pa)、投入RFパワーは1kW/5インチである。また、スパッタの際には、基板の加熱や冷却は行わず、室温にてスパッタした。

【0047】かかる非磁性膜3は、硬質磁性膜4に形成される磁壁の移動を防止するピン止めの効果を有するとともに、硬質磁性膜4と補助磁性層2とを互いに静磁結合させる効果を有する。かかる効果は、非磁性膜3を構成する材料に依存するとともに、成膜条件にも大きく依存する。この点を考慮すると、非磁性膜を構成する材料は、窒化シリコンに限定されるものではなく、Ni-PやAl、Al-Cr合金、Cr、Cr-Ti合金などの金属を用いてもよく、AlNやZrO₂、BNなどの無機化合物を用いてもよい。また、非磁性膜3の膜厚は、磁気ヘッド、特に記録ヘッドの形状や性能に応じて調整されることが望ましい。

【0048】また、ここでは、非磁性膜3に窒化シリコンを用いたが、これに限定されるものではなく、例えば、Si、Cr、Nb、Mo、W、Ta、Ti、Zr、V、Re、Rh、Pt、Pd、Ir、Ru及びCuの中の少なくとも一種の元素や、Ta、Cr、Al、Si、Mg及びTiの中の少なくとも一種の元素の酸化物または窒化物を用いても同様の効果を得ることができる。

【0049】〔硬質磁性膜の成膜〕つぎに、硬質磁性膜4として、Tb-Fe-Co非晶質膜を、RFマグネトロンスパッタ法を用いて膜厚20nmで形成した。硬質磁性膜4の組成は、Tb₁₅Fe₆₅Co₂₀で、遷移金属の副格子磁化が優勢側である。スパッタリングでは、Tb-Fe-Co合金をターゲットに、純Arを放電ガスにそれぞれ使用した。

【0050】ここで硬質磁性膜4の磁気特性を調べたところ、保磁力は3.5kOe (約278.53kA/m)、飽和磁化は250emu/ml、垂直磁気異方性エネルギーは6×10⁸erg/cm³であった。これらの値は、ガラス基板上に直接形成したTb-Fe-Co膜から得られる磁気特性である。

【0051】〔保護膜の成膜〕最後に、保護膜5としてC膜を5nmの膜厚で上述のECRスパッタ法により形成した。ターゲットにC(カーボン)を、放電ガスにArをそれぞれ用いた。スパッタ時の圧力は0.3mTorr (約39.9mPa)、投入マイクロ波電力は0.7kWである。また、マイクロ波により励起されたプラズマを引き込むために500WのRFバイアス電圧を印加した。作製した保護膜5の硬度をハイジロン社製の硬度測定器により測定したところ21GPaであった。また、ラマン分光の結果よりsp³結合が中心となることがわかった。

【0052】保護膜5の成膜では、スパッタガスにArを使用した。窒素を含むガスを用いて成膜してもよい。窒素を含むガスを用いると、粒子が微細化するとともに、得られるC膜が緻密化し、保護性能を更に向上させることができる。このように、保護膜の膜質はスパッタ条件や電極構造に大きく依存しているため、上述の条件は絶対的なものではなく、使用する装置に応じて適宜調整することが望ましい。

【0053】また、保護膜5の作製にECRスパッタ法を用いたのは、膜厚が2~3nmと極めて薄くても、緻密で且つピンホールフリーで、しかも、カバレッジの良いC膜が得られるからである。これは、RFスパッタ法やDCスパッタ法に比べて顕著な違いである。これに加えて、保護膜を成膜する場合に保護膜の下地になっている硬質磁性膜4が受けるダメージを著しく小さくできるという特徴もある。高密度化の進行とともに硬質記録膜4の薄膜化が進むので、成膜時に受けるダメージによる磁気特性の低下は致命的になるが、ECRスパッタ法を用いることによりこれを防止することができる。

【0054】ECRスパッタ法のはかに、保護膜の成膜にDCスパッタ法を用いても良い。しかし、この手法では形成する保護膜の膜厚が5nm以上の場合には用いることができるが、これより薄い場合は不向きな場合がある。これは、1) 磁性膜表面のカバレージが悪い、2) 膜の密度や硬度が十分ではない、などの理由による。

【0055】〔磁気特性の測定〕こうして得られた磁気記録媒体10について磁気特性を測定した。VSM (Vibration Sample Magnetometer) による測定からM-Hループを得た。その結果から、角型比S及びS*は1.0であり、良好な角型性が得られた。また、保磁力: Hcは3.9kOe (約310.362kA/m)、飽和磁化: Msは250emu/cm³であった。また、垂直磁気異方性エネルギーが 6×10^6 erg/cm³であった。このように、図1に示す構成で磁気記録媒体を作製すると、磁気記録媒体から得られる保磁力が増大した。これは、硬質磁性膜を形成する表面の形状や軟磁性膜との磁気的相互作用を反映した結果であると考えられる。この磁気記録媒体の硬質磁性膜4の活性化体積を測定し、磁性膜の熱的安定性の指標であるKuV/kTの値を求めたところ350であった。ここで、Ku: 磁気異方性エネルギー、V: 活性化体積、k: ボルツマン定数、T: 温度である。この値が大きいほど磁性膜は熱的に安定である。従来のCo系材料の場合は、60~70程度であることから、硬質磁性膜4は熱的安定性に優れていることがわかる。

【0056】〔磁気記録装置〕つぎに、磁気記録媒体の表面上に潤滑剤を塗布することによって磁気ディスクを完成させた。そして同様のプロセスにより複数の磁気ディスクを作製し、磁気記録装置に同軸上に組み込んだ。磁気記録装置の概略構成を図6及び図7に示す。

【0057】図6は磁気記録装置100の上面の図であり、図7は、磁気記録装置100の図6における破線A-A'方向の断面図である。記録用磁気ヘッドとして、1.5Tの飽和磁束密度を有するFe₃Ni₂合金の軟磁性膜を用いた単磁極ヘッドを用いた。また、記録信号は、巨大磁気抵抗効果を有するデュアルスピナバルブ型GMR磁気ヘッドにより再生した。磁気ヘッドのギャップ長は0.12μmであった。記録用磁気ヘッド及び再生用磁気ヘッドは一体化されており、図6及び図7では磁気ヘッド53として示した。この一体型磁気ヘッドは磁気ヘッド用駆動系54により制御される。

【0058】複数の磁気ディスク51はスピンドル52により同軸回転される。ここで、磁気ヘッド面と磁性膜との距離は12nmに保った。ここで、記録用磁気ヘッドの磁性材料の飽和磁束密度は1.5Tであり、磁気記録媒体の補助磁性膜の飽和磁束密度が2.0Tであるので、補助磁性膜は記録用磁気ヘッドから発生した磁界を十分に引き込んで硬質磁性膜の所望領域を確実に磁化させることができる。

【0059】この磁気ディスク51は50Gbits/inch² (約7.75Gbits/cm²) に相当する信号(800kFCI)を記録して磁気ディスクのS/Nを評価したところ、34dBの再生出力が得られた。補助磁性膜を設けない磁気ディスクよりも2dB以上ノイズを低減する効果を得られた。

【0060】次いで、磁気ディスクに一定のパターンを記録し、タイムインターバルアナライザにより硬質磁性膜に形成された磁区のエッジの緩らぎを測定した。測定の結果、補助磁性膜を備えない磁気ディスクよりもエッジの緩らぎを1/10以下に低減できた。また、磁気ディスクの欠陥レートを測定したところ、信号処理を行わない場合の値で 1×10^{-8} 以下であった。ここで、磁気力顕微鏡(MFM)により、記録した部分の磁化状態を観察したところ、磁化遷移領域に特有なジグザグパターンが観測されなかった。そのために、ノイズレベルを低減できたと考えられる。更に、サブミクロン以下の微小磁区の形成も容易に行なうことができた。

【0061】本実施例では基板上に直接補助磁性膜を形成したが、基板と補助磁性膜との間に、補助磁性膜の保護層や基板と補助磁性膜との接着性の向上を目的として、例えば、窒化シリコンまたは酸化シリコンなどの無機化合物薄膜や、CrまたはTiなどの非磁性の金属薄膜を10nm程度の膜厚で形成してもよい。

【0062】また、本実施例では、補助磁性膜として軟磁性膜と中間膜とからなる交互積層多層膜を用い、中間膜としてTi膜を用いたが、Ti膜のような非磁性金属膜の代わりに、例えばSi、N₂のような無機化合物薄膜や、Ni-Feのような柱状結晶で軟磁性膜と異なる組織を有し且つ結晶磁気異方性を設けることが可能な材料からなる薄膜を用いてもよい。このような中間膜を用いて補助磁性膜を構成しても、補助磁性膜の飽和磁束密度を向上させることができる。更に、軟磁性膜中にSi、N₂のような無機化合物を分散させると、補助磁性膜を軟磁性膜と中間膜と多層膜で構成することによって得られる効果に加えて、補助磁性膜を構成する複数の軟磁性膜同士の間接結合力を低減することができるので、高密度記録により好適である。

【0063】また、本実施例では、補助磁性膜を構成する軟磁性膜として、Co-Ta-Zr系非晶質合金を用いたが、TaをNbやTiに変更しても同様の特性が得られた。また、Co-Zr系の非晶質合金以外に、非晶質の鉄族元素と希土類元素とのフェリ磁性体を用いても同様の効果を得られた。この場合は、鉄族元素としてFe及びCoの少なくとも一方の元素を用いることができ、希土類元素としてGd、Er、Tm、Nd、Pr、Sm、Ce、La及びYの中から選ばれる少なくとも1種類の元素を用いることができる。かかる材料を軟磁性膜として用いた場合、飽和磁束密度が大きくなるような組成を選択することができるので有効である。

【0064】また、軟磁性膜として、6nm~20nm程度のFe結晶粒子の周囲（結晶粒界）に、TaC、Ta₂N、Hf-Nなどの2nm~5nm程度の微粒子を分散させたナノクリスタル構造の軟磁性膜、例えば、Fe-Ta-C系、Fe-Hf-N系、Fe-Ta-N系などの軟磁性膜を用いてもよい。これらの中で特にC（カーボン）系の軟磁性材料を用いて軟磁性膜を構成し、かかる軟磁性膜と中間膜とを用いて絶縁磁性膜を構成する場合、中間膜を構成する材料には、Cとの反応性の低い材料を用いることが望ましい。

【0065】また、本実施例では、硬質磁性膜にTb-Fe-Co非晶質合金を用いたが、Tb以外にDy、Ho、Gdのいずれの元素を用いても良く、この場合、垂直磁気異方性は、Tb>Dy>Ho>Gdの順で小さくなった。また、硬質磁性膜を構成する希土類金属として、例えば、Tb-Dy、Tb-Ho、Tb-Gd、Dy-Ho、Dy-Gd、Tb-Dy-Ho、Tb-Dy-Gd、Dy-Gd-Hoなどの複数の希土類元素を含む合金系を用いても良い。

【0066】また、遷移金属としてFe-Co合金を用いたが、Fe-Ni、Co-Niなどの合金を用いても良い。これらの合金は、Fe-Co>Fe-Ni>Co-Niの順で異方性エネルギーは減少する。

【0067】また、硬質磁性膜を構成する希土類-遷移金属材料中の希土類元素の濃度は、20at%以上30at%以下であることが好ましい。希土類元素をかかる濃度範囲にすることにより、希土類-遷移金属材料は、基板面に垂直な方向に磁気異方性を有する垂直磁化膜にすることができる。

【0068】

【実施例2】この実施例では、硬質磁性膜として、Tb-Fe-Co系の非晶質合金膜の代わりにTb/Fe/Co人工格子膜を用いた以外は、実施例1で作製した磁気記録媒体（図1参照）と同様の積層構造を有する磁気記録媒体を作製した。情報記録膜以外の成膜方法は実施例1と同様であるので説明を省略し、硬質磁性膜（Tb/Fe/Co人工格子膜）の成膜方法について以下に説明する。

【0069】【硬質磁性膜の成膜方法】硬質磁性膜であるTb/Fe/Co人工格子膜の成膜では、Tb、Fe及びCoの3層からなる多層同時スパッタ法を用いた。各層の膜厚は、Fe（1nm）/Co（0.1nm）/Tb（0.2nm）である。各層の膜厚は、基板の公転速度とスパッタ時の投入電力を適当に組み合わせることにより所望の値に精密に制御できる。ここでは、投入DC電力をTbが0.3kW、Coが0.15kW、そして、Feが0.7kWに設定した。基板の回転数は30rpmである。また、スパッタ時の放電ガス圧力は3mTorr、放電ガスには高純度のArガスを用いた。こうしてFe（1nm）/Co（0.1nm）/Tb

（0.2nm）から構成される積層体を周期的に積層して全体で約20nmになるように人工格子膜を形成した。

【0070】上記Tb/Fe/Co人工格子膜を作製する場合に重要なことは初期排気時の真空度で、ここでは、 4×10^{-9} Torrまで排気した後に作製した。かかる値は絶対的なものではなくスパッタの方式などにより変化するものである。また、ここではDCマグネトロンスパッタ法により作製したが、RFマグネトロンスパッタ法やエレクトロンサイクロトロンレゾナンスを利用したスパッタ法（ECRスパッタ法）を用いて行ってもよい。

【0071】このような人工格子膜を用いると、Tb-Fe-Co系の非晶質合金膜を用いた場合と比べて、垂直磁気異方性エネルギーを増大することができる。この人工格子膜は、FeやCoなどの遷移金属とTbなどの希土類元素とから構成されるフェリ磁性体と実質的に同じ磁気特性を示し、かかる人工格子膜の磁性は、遷移金属薄膜層の磁化と希土類元素薄膜層の磁化の差となって現れる。本実施例で作製した人工格子膜は、遷移金属の磁化が優勢な人工格子膜である。

【0072】また、この実施例では、Tb/Fe/Co人工格子膜を4nmの膜厚で形成した後、Nbからなる膜を0.3nmの膜厚で形成した。そして、Tb/Fe/Co人工格子膜とNb膜を繰り返し成膜して、Tb/Fe/Co人工格子膜の膜厚が約20nmになるまで成膜した。Nb膜はTb/Fe/Co人工格子膜の表面全体を覆っている必要はなくアイランド状に形成されていてもよい。

【0073】つぎに、かかる人工格子膜を硬質磁性膜として備える磁気記録媒体の磁気特性を測定した。VSM（Vibrating Sample Magnetometer）による測定からM-Hループを得た。その結果から、角型比S及びS*はともに1.0であり、良好な角型性が得られたことがわかった。また、保磁力Hcは3.9kOe（約310.362kA/m）であった。また、人工格子膜の磁気異方性エネルギーは、基板面に垂直な方向の垂直磁気異方性エネルギーが 1×10^7 erg/cm²であった。更に、磁気記録媒体の活性化体積Vを測定し、人工格子膜の熱的安定性の指標となる値KuV/kTを求めたところ400であった。このことは、この人工格子膜が、熱揺らぎや熱減速が小さく、熱的安定性に優れた材料であることを示している。

【0074】また、情報記録膜の断面構造を高解能透過型電子顕微鏡（高分解能TEM）により観察したところ、Fe（1nm）/Co（0.1nm）/Tb（0.2nm）からなるからなる積層体が所望の膜厚で周期的に積層された人工格子膜となっていることがわかった。

【0075】つぎに、磁気記録媒体の表面上に潤滑剤を

塗布することによって磁気ディスクを完成させた。そして同様のプロセスにより複数の磁気ディスクを作製し、それら磁気ディスクを、実施例1と同様に、図6及び7に示す磁気記録装置に同軸上に組み込んだ。かかる磁気記録装置を用いて情報の記録及び再生を行った。記録及び再生時には磁気ヘッド面と磁性膜との距離を12nmに保った。磁気ディスクに40Gbits/inch²に相当する信号(700kFCI)を記録してディスクのS/Nを評価したところ、36dBの再生出力が得られた。また、このディスクの欠陥レートを測定したところ、信号処理を行わない場合の値で、 1×10^{-5} 以下であった。

【0076】本実施例では、硬質磁性膜としてTb/Fe/Co系の人工格子膜を用いた場合を示したが、Tb以外にGd、Dy及びHoのいずれか1種類の元素を用いても、または、Gd-Tb、Gd-Dy、Gd-Ho、Tb-Dy及びTb-Hoなどの合金を用いても同様の効果が得られる。また、遷移金属としてFe/Coの2層膜を用いて人工格子膜を構成したが、Fe-Co、Fe-Ni、Co-Niなどの合金とTbなどの希土類元素との交互積層多層膜を用いても、同様の特性を有する磁性膜を得ることができる。

【0077】更に、このフェリ磁性体の薄膜が、白金族元素と鉄族元素とから構成される人工格子膜(交互積層多層膜)であってもよい。具体的には、白金族元素がPt、Pd、Rhのうちより選ばれる少なくとも1種類の元素であり、鉄族元素がFe、Co、Niのうちより選ばれる少なくとも1種類の元素を用いても良い。

【0078】

【実施例3】本実施例では、図8に示すように、基板1上に下地膜6、補助磁性層2、非磁性膜3、硬質磁性膜4及び保護膜5を積層した構造を有する磁気記録媒体20を作製した。硬質磁性膜4としてCo-Cr系結晶質磁性膜を、補助磁性層2としてFe系ナノクリスタル膜とSiO₂を交互に積層した多層膜を用いた。この実施例では、補助磁性層を構成する複数の軟磁性膜として結晶質のFe系軟磁性膜を用いたので、硬質磁性膜も結晶質の磁性材料を用いて構成した。これは、補助磁性層を構成している軟磁性膜の結晶粒子が硬質磁性膜を形成する際の核として作用するので、補助磁性層と硬質磁性膜とともに結晶質の材料を用いて構成することが有効だからである。

【0079】また、かかる補助磁性層上に結晶質材料の硬質磁性膜ではなく、非晶質材料の硬質磁性膜を形成することも可能である。この場合は、結晶質のFe系軟磁性膜を有する補助磁性層上に、Tb-Fe-Co系の硬質磁性膜を形成したときに、Tb-Fe-Co中のFeがFe系軟磁性膜の結晶粒子を核として成長し、これが磁気的な揺らぎとなって磁壁移動の際のピンニングサイトとして機能する。

【0080】以下、磁気記録媒体の製造方法について図8を参照しながら説明する。

【0081】(下地膜の成膜)直径2.5インチ(約6.35cm)のガラス基板1上に下地膜6としてNi、P₂O₅をRFマグネトロンスパッタ法により10nmの膜厚で形成した。ターゲット材料にはNi-Pを用い、放電ガスにはArを用いた。スパッタの条件は、投入RFパワーが1kW/5インチ、放電ガス圧力が5m Torr(約665Pa)である。スパッタリングは室温で行った。

【0082】かかる下地膜6は、下地膜6上に形成される膜(補助磁性膜)と基板との接着力を向上させる働きを有するとともに、成膜時に基板を加熱したときに基板内に含まれるアルカリ成分やアルカリ土類の成分が拡散して媒体を構成している各膜、特に磁性膜をアタックすることを抑制することができるので、信頼性を高めることができるという効果を有している。

【0083】(補助磁性層の成膜)つぎに、補助磁性層2としてFe-Ta-C膜(軟磁性膜)とTa膜(非磁性膜)とからなる交互積層膜をRFスパッタ法により作製した。Fe-Ta-C膜の成膜ではターゲット材料にFe、Ta、C₂合金を、Ta膜の成膜ではターゲット材料にTaをそれぞれ用い、放電ガスにはArガスを用いた。スパッタの際の投入RFパワーは、Fe-Ta-C膜の場合が1kW/5インチ、Ta膜の場合が0.2kW/5インチであり、放電ガス圧力が5m Torrである。スパッタリングは室温で行った。各膜の膜厚は、Fe-Ta-C膜が10nm、Ta膜が1nmである。かかる膜厚のFe-Ta-C膜とTa膜を交互に成膜することによって、交互積層膜(補助磁性層)の全膜厚が約250nmになるまで成膜した。Fe-Ta-C膜とTa膜の膜厚比及び補助磁性層の膜厚は、情報記録時の記録周波数や記録用磁気ヘッドの形状、記録用磁気ヘッドに用いられている磁性材料の飽和磁束密度に依存するので、それらに応じて調整することが好ましい。

【0084】Fe-Ta-C膜は、成膜直後は非晶質で、且つ、非磁性に近い薄膜である。このFe-Ta-C膜を300~500度の温度で熱処理することにより、10~20nmの粒子径サイズのFe結晶相と、3~5nmサイズのTaC相に相分離し、それらが結晶成長して磁性が発現する。得られたFe-Ta-C膜は、図3に示すように、Fe原子の粒界に炭化物としてのTaCが存在しているナノクリスタル構造の磁性膜である。

【0085】ここで、得られた補助磁性層2を310℃で熱処理した後、磁気特性を測定した。その結果、保磁力が0.6Oe(約47.748A/m)、飽和磁束密度が1.9T、比透磁率が100MHzでの値で1000であった。比透磁率は1MHz~200MHzまではほぼ一定の値であった。ここに、磁気記録媒体の磁性膜を

成膜する際に310℃の温度下で行なうことから、磁性膜成膜時の加熱を、上述のナノクリスタル構造のFe-Ta-C膜を得るために行なう熱処理と兼ねてもよい。

【0086】〔非磁性膜の成膜〕つぎに、非磁性膜3として、Si、N、Ti膜を3nm膜厚でRFマグネトロンスパッタ法により形成した。スパッタリングでは、ターゲット材料にSiを、放電ガスにAr-N₂混合ガス(Ar/N₂分圧比:90/10)を用いた。スパッタの条件は、投入RFパワーが1kW/150mmφ、放電ガス圧力が10mTorr(約1.33Pa)である。また、スパッタの際には、基板の加熱や冷却は行なわず、室温にてスパッタした。

【0087】ここでは、非磁性膜であるSi、N、Tiの成膜に反応性スパッタ法を用いたが、成膜方法に応じて得られる効果も変化するものではなく、通常の窒化シリコンをスパッタターゲットに用いてスパッタを行なっても同様のSi、N、Ti膜が得られる。

【0088】〔硬質磁性膜の成膜〕次いで、非磁性膜3上にCo-Cr-Pt-Ta系の硬質磁性膜4を成膜した。成膜の際には基板温度を400℃に上げて、Co-Cr-Pt-Ta系硬質磁性膜をDCスパッタ法により15nm膜厚で形成した。ターゲット材料には、Co、Cr、Pt、Taを用い、放電ガスには純Arをそれぞれ使用した。スパッタ時の放電ガス圧は3mTorr(約399mPa)であり、投入DC電力は1kW/150mmφである。

【0089】かかる硬質磁性膜の成膜にはECRスパッタ法を用いても良い。ECRスパッタ法を用いることにより、硬質磁性膜の結晶粒子サイズ及びその分布を高精度に制御することが可能となる。

【0090】最後に、保護膜5として、C(カーボン)膜をECRスパッタ法により3nmの膜厚に形成した。スパッタターゲットには、リング状のカーボンターゲットを用いた。また、放電ガスにはArを用い、スパッタ時の圧力は3mTorr(約399mPa)、投入マイクロ波電力は1kW(周波数は2.93GHz)、基板温度は室温である。マイクロ波により励起されたプラズマを引き込むために、500WのRFバイアスをターゲットに印加した。ここで、カーボンは導電体であるので、RFバイアスの代わりにDC電圧を印加して引き込んで同様の効果が得られる。

【0091】つぎに、上述のようにして作製された磁気記録媒体の磁気特性を測定した。VSM測定からM-Hループを求めたところ、角型比S及びS*は1.0であり、良好な角型性が得られた。また、保磁力: Hcは3.5kOe(約278.53kA/m)、飽和磁化: Msは300emu/cm³であった。また、垂直磁気異方性エネルギーが6×10⁵ erg/cm³であった。この磁気記録媒体の活性化体積を測定したところ、Ku・v/kT=150であった。

【0092】つぎに、このような磁気特性を有する磁気記録媒体の表面に潤滑剤を塗布して磁気ディスクを完成させた。そして同様のプロセスにより複数の磁気ディスクを作製し、実施例1と同様に、図6及び7に示す磁気記録装置に同軸上に組み込んだ。かかる磁気記録装置を用いて情報の記録及び再生を行なう。磁気ディスクの記録再生特性を評価した。記録及び再生時には磁気ヘッド面と硬質磁性膜との距離を12nmに保った。ここでは、記録用磁気ヘッドの飽和磁束密度Bs(H)が1.5T、磁気記録媒体の軟磁性膜の飽和磁束密度Bs(M)が1.9Tであり、Bs(H)<Bs(M)の関係が満足しているために、磁気ヘッドからの磁束は軟磁性膜に十分に引き込まれ、硬質磁性膜の微小領域を確実に磁化することができる。

【0093】この磁気ディスクに50Gb/its/inch²(約7.75Gb/its/cm²)に相当する信号を記録して磁気ディスクのS/Nを評価したところ、33dBの再生出力が得られた。このように、上述したような補助磁性層を備える本発明の媒体は、補助磁性層を設けない従来の媒体よりも2dB以上ノイズを低減する効果が得られた。

【0094】次いで、磁気ディスクに一定のパターンの記録マークを記録し、タイムインターバルアナライザにより磁区のエッジの揺らぎを測定した。その結果、軟磁性膜を設けない磁気ディスクの場合よりも、エッジの揺らぎを1/10以下に低減できた。また、この磁気ディスクの欠陥レートを測定したところ、信号処理を行わない場合の値で、1×10⁻⁸以下であった。

【0095】以上、本発明の情報記録媒体及び情報記録装置について具体的に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、種々の変形例及び改良例も含み得る。

【0096】例えば、上記実施例1～3でそれぞれ作製した磁気記録媒体において、S/Nの向上を図ることを目的として、Pt-Co合金膜を硬質磁性膜上に形成しても良い。Pt-Co合金膜の成膜には、例えば、Pt、Coの2層のターゲットからなる2層同時スパッタ法を用いることができる。また、2層同時スパッタ法以外に、RFマグネトロンスパッタ法やDCマグネトロンスパッタ法、共鳴吸収法を用いたECRスパッタ法を用いてもよく、成膜方法に特性が依存するものではない。

【0097】また、上記実施例1では、補助磁性層を構成する軟磁性膜を、Co-Nb-Zr系の合金からなる非晶質膜として構成したが、Co層とNb層とZr層とからなる人工格子膜(Co/Nb/Zr)として構成することも可能である。

【0098】また、上記実施例3では、補助磁性膜と硬質磁性膜との間に形成される非磁性膜としてSi、N、Ti膜を用いたが、MgO膜を用いてもよい。MgO膜は、その上に形成される硬質磁性膜の結晶配向性を制御する

ことができる。かかるMgO膜は、電子サイクロトロン共鳴（ECRスパッタ法）を用いて成膜することが特に好ましい。これは、結集粒子サイズ、配向性及び化学量論性等の制御に最も優れているためである。ECRスパッタ法を用いてMgO膜を成膜する場合の成膜条件を一例として示すと、スパッタ時の圧力が0.6mTorr（約79.8mPa）、投入マイクロ波電力が0.7kWである。また、マイクロ波により励起されたプラズマを引き込むために500WのRFバイアスを印加することができる。

【0099】

【発明の効果】本発明の情報記録媒体は、情報が記録される硬質磁性膜と補助磁性層の2層の磁性層を非磁性膜を介して積層しており、補助磁性層が、例えば、軟磁性膜と非磁性の中間膜とを交互に積層した交互積層多層膜を用いて構成されているので、軟磁性膜の膜厚方向の磁気的結合力が低減されている。これにより、補助磁性層は、硬質磁性膜に形成される磁壁の移動に高速且つスムーズに追従するので、情報記録時に硬質磁性膜に形成される磁区を硬質磁性膜内で高精度に位置付けることができる。すなわち、本発明の情報記録媒体には、高速且つ高密度に情報を記録することができる。

【0100】また、かかる補助磁性層は、軟磁性膜単層で構成した場合よりも高い飽和磁束密度が得られるので、記録用の磁気ヘッドから発生する磁界が硬質磁性膜に効率よく印加され、硬質磁性膜に微小記録磁区を高精度に且つ確実に形成することができる。

【0101】特に、補助磁性層の飽和磁束密度を、情報記録時に用いられる磁気ヘッドの磁極を構成する磁性材料の飽和磁束密度以上にすることにより、記録用磁気ヘッドの磁極から発生する磁束を硬質磁性膜により一層有効に印加することができる。それゆえ、硬質磁性膜を高保磁力の磁性材料を用いて構成しても、硬質磁性膜に微小な記録磁区を確実に形成することができる。また、記録磁区は高精度に位置決めされているとともにエッジの揺らぎが低減されているので、微小磁区であっても確実に再生することができる。

【0102】本発明の情報記録装置は、情報記録媒体の*

* 硬質磁性膜に微小磁区を確実に且つ高精度に形成することが可能であり、50Gbits/inch²（約7.75Gbits/cm²）を超える超高密度記録を實現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従う情報記録媒体の断面構造を模式的に示す図である。

【図2】補助磁性膜の断面構造を模式的に示す図であり、（A）は軟磁性膜が2層の場合であり、（B）は軟磁性膜が多層の場合である。

【図3】ナノクリスタル構造を有する磁性膜を模式的に示した図であり、Feの結晶粒子の粒界部に炭化物（例えばTaC）または窒化物が分散して析出している様子を示している。

【図4】記録用磁気ヘッド（単磁極ヘッド）と硬質磁性膜と補助磁性膜との間に形成される閉磁界ループの様子を模式的に示す図である。

【図5】実施例において保護膜の成膜に用いたECRスパッタ装置の構造を概念的に説明する図である。

【図6】本発明に従う磁気記録装置の概略構成図である。

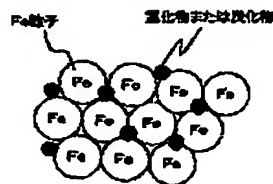
【図7】図6の磁気記録装置のA-A'方向における断面図である。

【図8】実施例3で作製した磁気記録媒体の概略断面図である。

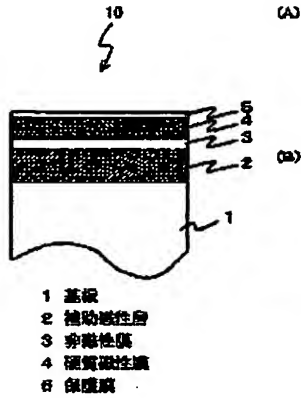
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 補助磁性層
- 3 非磁性膜
- 4 硬質磁性膜
- 5 保護膜
- 6 下地膜
- 10、20 磁気記録媒体
- 51 磁気ディスク
- 52 スピンドル
- 53 磁気ヘッド
- 54 磁気ヘッドの駆動系
- 100 磁気記録装置

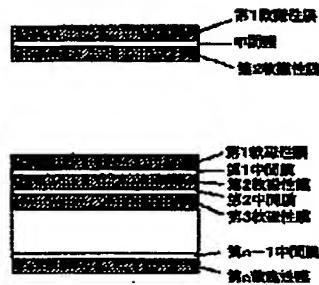
【図3】



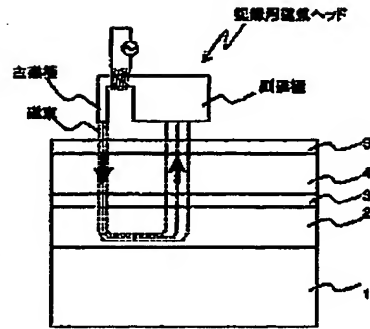
【図1】



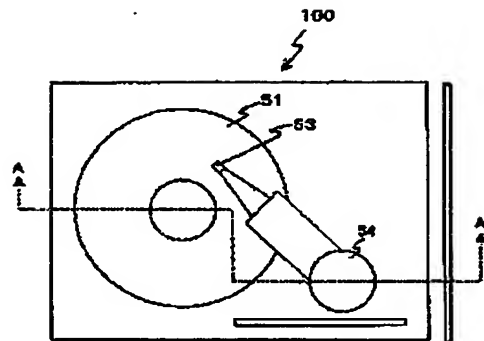
【図2】



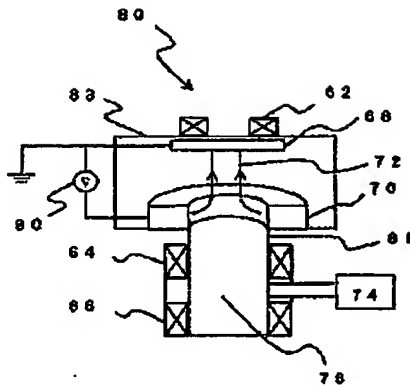
【図4】



【図6】

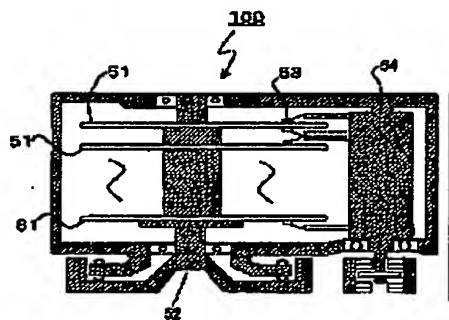


【図5】

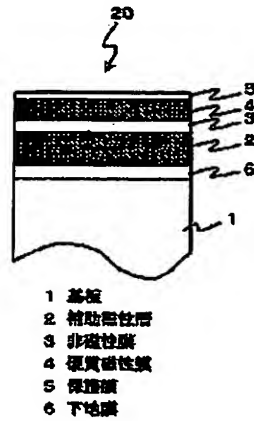


- 62, 64, 68 コイル
66 磁石
70 ターゲット
72 ターゲット粒子の流れ
74 マイクロ放射室
76 ECRプラズマ
80 ECRスパッタ装置
81 第1チャンバ
83 第2チャンバ
90 電源

【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 若林 康一郎
大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立マ
クセル株式会社内

(72)発明者 松沼 悟
大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立マ
クセル株式会社内
Fターム(参考) 5D006 B801 B807 B808 CA01 CA03
CA05 CA06 FA09